Zusammenhang zwischen Feinbau und mechanisch-akustischen Eigenschaften einfacher Silikatgläser.

Auszug aus der zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg eingereichten Inaugural-Dissertation

von

Wolfgang Emil Deeg.

Würzburg, 1956.

Tag der mündl. Prüfung:
26. November 1956.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

1. Einleitung.

Es ist bekannt, daß z.B. durch Anschlagen erregte, geometrisch gleiche Körper aus Silikatgläsern unter gleichen äußeren Bedingungen beim gleichen Beobachter verschiedene Klangempfindungen hervorrufen, wenn die chemische Zusammensetzung oder (und) der Homogenitätsgrad der Gläser verschieden ist. So empfindet man z.B. den Klang eines homogenen Stabes aus Bleiglas als angenehm, während ein Fensterglasstab unter sonst gleichen Bedingungen stumpf, ein entsprechender Quarzglasstab schrill klingt. Dieser Unterschied im Klangbild kann zunächst auf die Verschiedenheit der mechanischen Eigenschaften zurückgeführt werden, die ihrerseits wieder bedingt ist durch die unterschiedliche Zusammensetzung und damit die Struktur der genannten Gläser.

Eine zweite Möglichkeit, den Klang eines Glases zu beeinflussen, besteht darin, daß man bei vorgegebener Zusammensetzung den Homogenitätsgrad oder die Güte der Kühlung variiert.

Die Untersuchung beider Fälle ist wissenschaftlich und technisch interessant: einmal kann man, auf dem Umweg über das Relaxationsverhalten, aus dem Klang eines Glases Schlüsse ziehen auf strukturelle Verhältnisse, die mit anderen Methoden nicht untersucht werden können, zum anderen läßt sich aus dem Klang eines Glaskörpers auf dessen technische Güte schließen.

2. Kurzbericht über bisher veröffentlichte Untersuchungen zum mechanisch-akustischen Verhalten von Silikatgläsern.

Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Klang und mechanischen Eigenschaften der Silikatgläser fehlen bis heute. In manchen Betrieben liegt lediglich ein gewisses Erfahrungsmaterial vor, derart, daß ein geübter Hüttenmann aus dem Klang der Fertigware auf die Güte der Kühlung oder den Schmelzgrad des Glases schließen kann. - Daß der Klang eines Körpers wesentlich bestimmt wird durch dessen inelastisches Verhalten, wurde von W. Weber (1) erkannt.

Spezielle akustische Untersuchungen von Gläsern wurden von B. Hoffmann (2), K. Schuster (3 - 5), H. Spiekermann (6) und H. Jungnitz (7) durchgeführt.

Schallgeschwindigkeit und Elastizitätsmodul wurden, z.T. in Abhängigkeit von der Zusammensetzung, der Vorgeschichte oder der Temperatur seit Ende des 19. Jahrhunderts von verschiedenen Autoren an Silikatgläsern gemessen. Von grundsätzlicher Bedeutung sind die Ergebnisse der Untersuchungen von A. Winkelmann und O. Schott (8), W. Ludwig (9), E. Warsleb (10) sowie G. Gehlhoff und M. Thomas (11).

Die Erscheinung der elastischen und thermischen Nachwirkung von Glas wurde mit Rücksicht auf die große praktische Bedeutung ("Thermometereffekt") auf Anregung von E. Abbe und O. Schott sehr eingehend von G. Weidmann (12) untersucht. H. Rötger (13) behandelte erstmalig den Zusammenhang zwischen elastischer Nachwirkung und innerer Dämpfung von Glas. Eine Zeitabhängigkeit der akustischen Verlustzahl wurde von A. Dietzel und E. Deeg (14) festgestellt. Der Verfasser fand eine Beeinflussung der Verlustzahl eines Glases durch Einwirkung von Röntgenstrahlen: Die durch die Strahlung verursachte Erhöhung der Verlustzahl klingt nach beendeter Bestrahlung zeitlich ab.

Aus Messungen verschiedener Verfasser ergibt sich, daß die innere Dämpfung der Silikatgläser in Abhängigkeit von der Meßfrequenz bei Zimmertemperatur im Bereich von etwa 0,1 bis 5 sec^{-1} ein breites Maximum durchläuft. Zu niedrigen Frequenzen hin fällt die innere Dämpfung steil ab, zu höheren Frequenzen flacher.

3. Untersuchungen zur Abhängigkeit des Klanges einfacher Glaskörper vom Material.

Mit Hilfe eines Freystedt'schen Tonfrequenzspektrometers (15) und eines Kathodenstrahloszillographen wurden Frequenz- und Klangkurven von durch Anschlag zu akustischen Schwingungen erregten Glockenmensuren aus zwei verschiedenen, handelsüblichen Gläsern aufgenommen. Dabei wurde der Kühlgrad der Mensuren variiert. Es ergaben sich im Frequenzspektrum charakteristische Unterschiede sowohl bei den beiden Glassorten (vgl. Bild 1 und 2) als auch beim gleichen Glas bei verschie-

denem Spannungszustand. Mit zunehmender Spannung ergab sich eine Zunahme der Dämpfung aller im Spektrum auftretenden Komponenten. Ferner sind die höheren Frequenzen während des Abklingvorganges bei abgeschreckten Gläsern noch längere Zeit vertreten als beim feingekühlten Glas (vgl. Bild 1 und 3).

Der Einfluß von Schlieren auf die Eigenfrequenzen eines durch Anschlag zu longitudinalen Schwingungen erregten Glasstabes wird theoretisch an vier willkürlich vorgegebenen Schlierenverteilungen diskutiert.

Die Abhängigkeit des Klangspektrums homogener, longitudinal schwingender Glasstäbe aus Quarz-, Blei- und Fensterglas von Elastizitätsmodul, Dichte und akustischer Verlustzahl der genannten Gläser wird ebenfalls theoretisch gezeigt. Die in der Einleitung angeführten Unterschiede in der Klangqualität finden dadurch ihre Erklärung.

4. Messung der Temperaturabhängigkeit von Schallgeschwindigkeit, Elastizitätsmodul und innerer Dämpfung einfacher Gläser.

Die genannten Materialkonstanten wurden im Bereich von Zimmertemperatur bis zum Transformationsbereich aus den Resonanzkurven der zu Biegeschwingungen erregten, gegossenen und geschliffenen Probestäbe sowie der Masse und Geometrie letzterer ermittelt. Es wurden untersucht:

20 Alkali-Kieselsäuregläser bei wechselndem Na_2O- bzw. K_2O-Gehalt
5 Natron-Kalk-Kieselsäuregläser
3 Natron-Blei-Kieselsäuregläser
4 Natron-Titan-Kieselsäuregläser
1 Natron-Tonerde-Kieselsäureglas
1 handelsübliches Thermometerglas
1 handelsübliches Geräteglas.

Die Ausdehnungskurven dieser Gläser, die bei der Ermittlung der Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls und der Schallgeschwindigkeit als Korrekturfunktionen benötigt wurden, werden ebenfalls mitgeteilt.

Zwei, aus verschiedener Produktion stammende, unter der gleichen Handelsbezeichnung laufende Probestäbe aus Quarzglas ergaben verschiedene Verlustzahl-Temperatur-Kurven. Bei einem der beiden Stäbe traten Anomalien im Kurvenverlauf auf bei den Temperaturen 150, 275, 350 und 575 °C. Ferner wurde bei Quarz-

glas im Temperaturbereich von 20 bis 700 °C ein Anstieg des Elastizitätsmoduls und der Schallgeschwindigkeit mit wachsender Temperatur festgestellt; ebenso bei einem Titanglas im Bereich von 20 bis 460 °C. In Analogie zur Wöhlisch-Kuhn'schen Auffassung der Kautschukelastizität wird dieses Verhalten auf einen Entropie-Effekt zurückgeführt und vom Standpunkt einer erweiterten Zachariasen-Warren'schen Strukturauffassung gedeutet.

Aus den Messungen kann geschlossen werden, daß in einfachen K_2O-SiO_2- und Na_2O-SiO_2-Gläsern bei der Zusammensetzung $R_2O \cdot 2\ SiO_2$ mit dem Auftreten eines neuen Strukturelements im Glas gerechnet werden muß; ebenso bei gemischten Na_2O-K_2O-SiO_2-Gläsern bei einer Zusammensetzung von $Na_2O : K_2O : SiO_2 = 1 : 5 : 14$ bzw. $= 5 : 1 : 14$. Aus den Untersuchungen an den Titangläsern, bei denen in den Verlustzahl-Temperatur-Kurven durchweg zwei Maxima auftraten, wird gefolgert, daß in eine alkaliarme Kieselglasmatrix Titanat-Inseln eingebettet sind.

In Analogie zu der in einer vorausgehenden Arbeit vorgeschlagenen strukturellen Deutung der thermischen und elastischen Nachwirkung der Gläser, wird auch der Einfluß der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen auf die Verlustzahl und die anschließende zeitliche Änderung letzterer gedeutet (vgl. (14)).

Aus Messungen der Verlustzahl in Abhängigkeit von der Schmelzdauer eines Glases geht hervor, daß diese Größe geeignet ist, den Schmelzgrad eines Glases zahlenmäßig festzulegen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Dietzel, Max-Planck-Institut für Silikatforschung, Würzburg, danke ich sehr für die Anregung zur Dissertation, für fruchtbringende Diskussionen über das behandelte Thema und für die großzügige Bereitstellung der benötigten experimentellen Mittel.

5. Literatur.

(1) Weber, W.: Ann. Phys. 34 (1835), 247.
(2) Hoffmann, B.: Glastechn. Ber. 25 (1952), 249.
(3) Schuster, K.: Glastechn. Ber. 18 (1940), 213.
(4) dto. : Glastechn. Ber. 19 (1941), 228.
(5) dto. : Ergebn. ex. Naturw. 21 (1945), 313.

(6) Spiekermann, H.: Glastechn. Ber. 27 (1954), 162.
(7) Jungnitz, H.: Glastechn. Ber. 18 (1940), 101.
(8) Winkelmann, A. und Schott, O.: Ann. Phys. 51 (1894), 697.
(9) Ludwig, W.: Phys. Z. 1 (1900), 124.
(10) Wandersleb, E.: Ann. Phys. 8 (1902), 367.
(11) Gehlhoff, G. und Thomas, M.: Z. techn. Phys. 7 (1926), 105.
(12) Weidmann, G.: Ann.Phys. 29 (1886), 214.
(13) Rötger, H.: Glastechn. Ber. 19 (1941), 192.
(14) Dietzel, A. und Deeg, E.: Glastechn. Ber. 27 (1954), 105.
(15) Freystedt, E.: Z. techn. Phys. 16 (1935), 533.

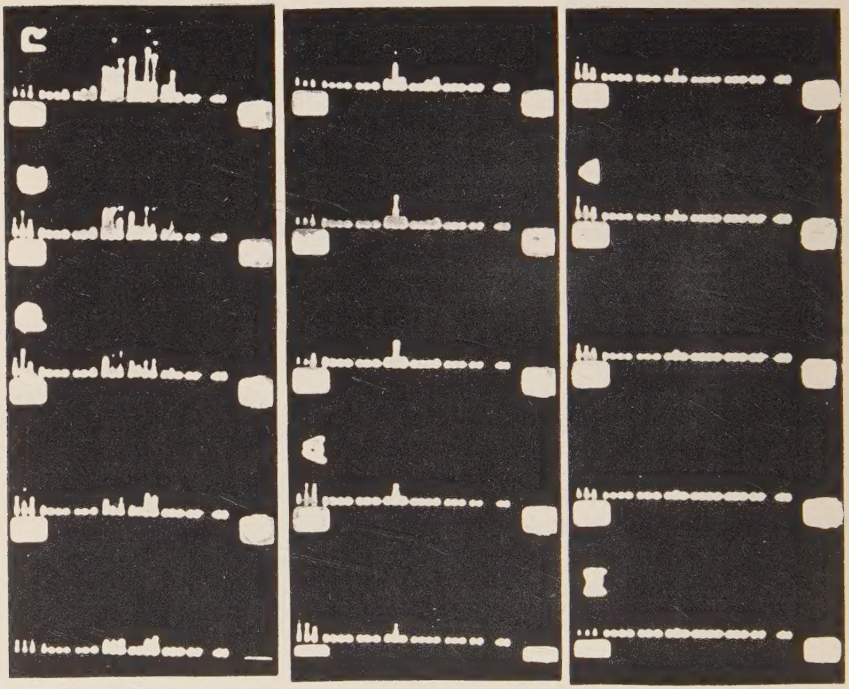

Bild 1: Klangspektrum einer durch Anschlag erregten Glockenmensur aus einem handelsüblichen Thermometerglas (feingekühlt). Der zeitliche Abstand zweier Einzelbilder beträgt rund 0,06 sec, der Abstand zweier Spektrallinien jeweils rund 0,33 Oktaven. Abszisse der Einzelbilder: Frequenzen von 100 bis 12 500 sec^{-1}; Ordinaten der Einzelbilder: Amplituden der Schwingungskomponenten.

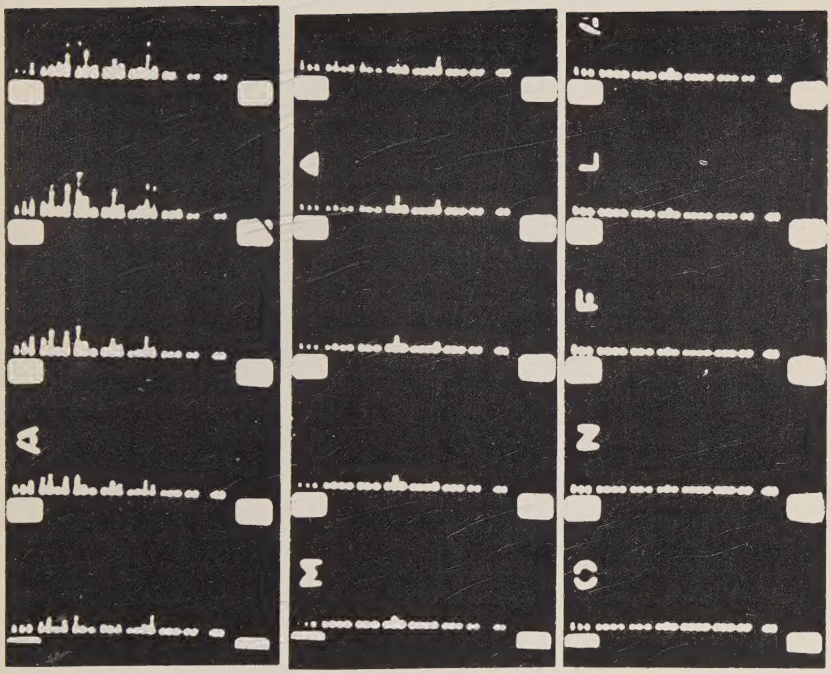

Bild 2: Klangspektrum einer durch Anschlag erregten Glockenmensur aus einem handelsüblichen Geräteglas (feingekühlt).

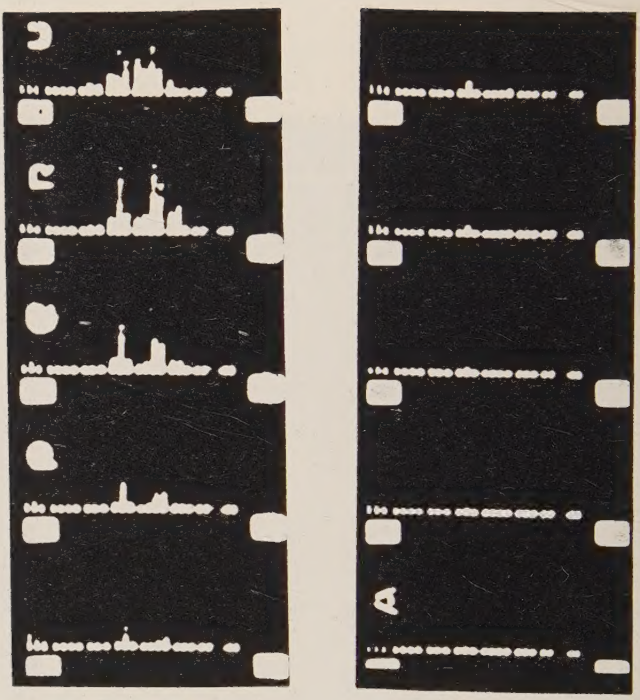

Bild 3: Klangspektrum einer durch Anschlag erregten Glockenmensur aus einem handelsüblichen Thermometerglas (starke Kühlspannungen).